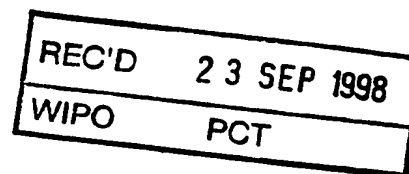


**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



**Bescheinigung**

Die Deutsche Telekom AG in Bonn/Deutschland hat eine  
Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Verfahren und Schaltungsanordnung zur Übertragung  
von Nachrichten"

am 13. August 1997 beim Deutschen Patentamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue  
Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patent-  
anmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patentamt vorläufig das Symbol  
H 04 L 27/34 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 28. Mai 1998

Der Präsident des Deutschen Patentamts

Im Auftrag

Hübinger

Zeichen: 197 35 097.6



Deutsche Telekom AG, 64295 DARMSTADT

Verfahren und Schaltungsanordnung zur Übertragung  
von Nachrichten

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Übertragung von Nachrichten, wobei die Nachrichten mittels orthogonaler Funktionen zu einem Signal kodiert werden. Die Erfindung betrifft darüber hinaus eine Schaltungsanordnung zur Ausübung des Verfahrens.

Verfahren dieser Art sind aus dem Stand der Technik bekannt. So werden in der Praxis häufig Sinus- und Cosinusfunktionen als orthogonale Basisfunktionen zur Kodierung einer Anzahl von Nachrichten zu einem gemeinsamen Signal benutzt. Zur Theorie dieser Verfahren wird auf das Buch "Principles of Communication Engineering", Wozencraft, Jacobs, Wiley New York 1965, verwiesen.

Bei der Übertragung von Nachrichten ist man bestrebt, die zu übertragenden Signale störunempfindlich zu machen und empfängerseitig Mittel vorzusehen, die Störungen ausfiltern.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren anzugeben, das eine hohe Übertragungsrate bei einer Reduktion der Störungsempfindlichkeit ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gelöst, das die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist. Dadurch, daß als orthogonale Funktionen sogenannte Hermitesche Funktionen verwendet werden, lassen sich die Störungen empfängerseitig deutlich reduzieren.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird das empfangene Signal einer Fouriertransformation unterzogen und anschließend mittels der Hermiteschen Funktionen dekodiert. Hierbei wird die Eigenschaft ausgenutzt, daß sich Hermitesche Funktionen bei einer Fouriertransformation bis auf eine multiplikative Konstante nicht verändern.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird das empfangene Signal vor und/oder nach der Fouriertransformation gefiltert, um eventuell enthaltene Störanteile zu beseitigen.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird das empfangene Signal sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich dekodiert. Das heißt, daß das empfangene Signal einerseits direkt der Dekodierung zugeführt wird und andererseits zunächst fouriertransformiert und dann dekodiert wird.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird jeweils eines der beiden im Zeit- bzw. im Frequenzbereich liegenden dekodierten Signale ausge-

wählt.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird eines der beiden im Zeitbereich und im Frequenzbereich vorliegenden Signale auf der Grundlage aller vorliegenden Signale ausgewählt.

Die Aufgabe der Erfindung wird darüber hinaus von einer Schaltungsanordnung gelöst, die die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist. Die Schaltungsanordnung ist dazu ausgelegt, das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen. Dazu weist sie sendeseitig eine Modulationseinrichtung auf, die die zu übertragenden Nachrichten mittels Hermitescher Funktionen kodiert. Empfangsseitig ist entsprechend eine Demodulationseinrichtung vorgesehen, die aus den empfangenen Signalen mittels der Hermiteschen Funktionen die Nachrichten dekodiert.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist die Demodulationseinrichtung eine der Anzahl der Dimensionen beziehungsweise Linearfaktoren entsprechende Anzahl von Multiplizierern, Integratoren und Entscheidern auf, wobei jeweils ein Multiplizierer, ein Integrator und ein Entscheider zu einer Auswerteeinheit in Reihe geschaltet sind. Multiplizierer und Integrator bilden einen Korrelator.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist eine Fouriertransformationsvorrichtung vorgesehen, die das empfangene Signal fouriertransformiert und den Auswerteeinheiten zuführt.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist jede Auswerteeinheit zweifach vorgesehen, wobei

jeweils eine der beiden Auswerteeinheiten das Signal im Zeitbereich und die andere Auswerteeinheit das Signal im Frequenzbereich zugeführt bekommt. Statt zwei Auswerteeinheiten kann gegebenenfalls nur eine in Multiplextechnik benutzt werden.

Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

- Figur 1 eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer Schaltungsanordnung,
- Figur 2 eine schematische Darstellung der Empfängerseite eines weiteren Ausführungsbeispiels,
- Figur 3 eine schematische Darstellung der Empfängerseite eines weiteren Ausführungsbeispiels,
- Figur 4 eine schematische Darstellung der Empfängerseite eines weiteren Ausführungsbeispiels, und
- Figur 5 eine graphische Darstellung der ersten fünf hermiteschen Funktionen.

In Figur 1 ist eine Schaltungsanordnung gezeigt, die zur Übertragung und zum Empfang von Nachrichten geeignet ist. Sie umfaßt eine Sendeeinrichtung 3, die beispielsweise über einen Übertragungskanal 5 Signale an eine Empfangseinrichtung 7 übermittelt.

Die Sendeeinrichtung 3 umfaßt mehrere, im vorliegenden Ausführungsbeispiel eine Anzahl von L Multiplizierern 9, die die zu kodierende Nachricht  $m = (m_0, \dots, m_{L-1})$  mittels orthogonaler Funktionen  $f_0(t)$  bis  $f_{L-1}(t)$  abbildet. Die Ausgangssignale der Multiplizierer 9 werden einer Addiereinrichtung 11 zugeführt, die das zu übertragende Signal  $s(t)$  erzeugt. Das Signal  $s(t)$  läßt sich somit als Linearkombination von orthogonalen Basisfunktionen wie folgt darstellen:

$$s(t) = m_0 f_0(t) + m_1 f_1(t) + \dots + m_{L-1} f_{L-1}(t).$$

Bei den Funktionen  $f_0(t)$  bis  $f_{L-1}(t)$  handelt es sich um orthogonale Funktionen, die folgender Regel genügen:

$$\int_{-T/2}^{+T/2} f_i(t) f_j(t) dt = \begin{cases} \text{const. } i = j \\ 0 & \text{sonst} \end{cases},$$

wobei  $T$  das Orthogonalitätsintervall ist. Da das Orthogonalitätsintervall der Hermiteschen Funktionen sich über ein unendliches Zeitintervall erstreckt, muß man die Hermiteschen Funktionen durch technisch realisierbare Funktionen approximieren.

Üblicherweise werden die Funktionen  $f(t)$  normiert, derart, daß die Konstante gleich 1 ist. Man spricht in diesem Fall auch von orthonormalen Funktionen.

In der Figur 1 ist angedeutet, daß das zu sendende Signal  $s(t)$  auf dem Übertragungsweg 5 gestört wird, wobei das Störsignal mit  $e(t)$  bezeichnet ist.

Die Empfangseinrichtung 7 umfaßt eine der Anzahl der im Signal  $s(t)$  enthaltenen Dimensionen entsprechende Anzahl an Dekodiereinheiten 13. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist eine Anzahl von  $L$  Dekodiereinheiten 13 vorgesehen. Jede der Dekodiereinheiten 13 umfaßt einen Multiplizierer 15, einen Integrator 17 und einen Entscheider 19. Die vorgenannten Baueinheiten sind in Reihe geschaltet, wobei das Ausgangssignal des Multiplizierers 15 dem Integrator zugeführt ist und das Ausgangssignal des Integrators zum Entscheider 19 geführt ist, der dann die dekodierte Komponente  $\hat{m}_j$  bereitstellt.

Jeder der Dekodiereinheiten 13 wird ein Signal  $r(t)$  zugeführt, das sich aus dem gesendeten Signal  $s(t)$  und dem Störsignal  $e(t)$  zusammensetzt. Durch die Orthogonalität der zur Modulation verwendeten Funktionen lassen sich aus dem gesendeten Signal  $s(t)$  die Komponenten  $m_j$  in einfacher Weise wiedergewinnen, indem man das Integral

$$\int_{-T/2}^{+T/2} s(t) f_j(t) dt$$

berechnet. Diese Integration wird von den Integratoren 17 durchgeführt. Da das von der Empfangseinrichtung 7 empfangene Signal  $r(t)$  einen Störanteil  $e(t)$  aufweist, enthält auch das von den Integratoren 17 zur Verfügung gestellte Signal gemäß Gleichung

$$\int_{-T/2}^{+T/2} r(t) f_j(t) dt$$

$$\text{mit } r(t) = s(t) + e(t)$$

einen Störanteil. Der nachgeschaltete Entscheider 19 hat nun die Aufgabe, aus dem vom Integrator 17 gelieferten fehlerbehafteten Signal den bestmöglichen Schätzwert für die Nachricht  $m_j$  zu bestimmen.

Neben der bereits erwähnten Eigenschaft der Orthogonalität zeichnen sich die zur Modulation benutzten Funktionen  $f_0(t)$  bis  $f_{L-1}(t)$  dadurch aus, daß sie bei einer Fouriertransformation bis auf eine multiplikative Konstante unverändert bleiben. Derartige Funktionen sind die Hermiteschen Funktionen und sind wie folgt definiert:

$$f_n(x) = \frac{H_n(x) e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2^n n!} \sqrt{\pi}}$$

wobei  $H_n(x)$  die Hermiteschen Polynome sind, für welche gilt:

$$H_n(x) = (-1)^n e^{x^2} \frac{d^n}{dx^n} e^{-x^2}$$

Eine graphische Darstellung der ersten fünf Hermiteschen Funktionen ist in Figur 5 gezeigt. Deutlich zu erkennen ist das starke exponentielle Abklingen der Funktionen. Diese Eigenschaft ermöglicht in einfacher Weise eine technisch realisierbare



Approximation der Funktionen, die dann den Multiplizierern 9 und 15 zugeführt werden. Eine ausführliche Darstellung der erwähnten Hermiteischen Funktionen ist in dem Buch "The Fourier Integral and certain of its Applications", N. Wiener, Cambridge University Press, Cambridge 1933, Nachdruck 1988 zu finden.

In Figur 2 ist ein zweites Ausführungsbeispiel einer Empfangseinrichtung 7 dargestellt, die im wesentlichen der in Figur 1 gezeigten und beschriebenen Empfangseinrichtung entspricht. Auf eine Beschreibung der mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichneten Teile wird deshalb verzichtet. Im Unterschied zu der bereits beschriebenen Empfangseinrichtung 7 ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel eine Fouriertransformationseinrichtung 21 vorgesehen, die das empfangene Signal  $r(t)$  in den Frequenzbereich transformiert und dieses transformierte Signal dann den Multiplizierern 15 zuführt. Der Fouriertransformationseinrichtung 21 ist ein erstes Filter 22.1 vorgeschaltet und ein zweites Filter 22.2 nachgeschaltet. Mit Hilfe der schematisch eingezeichneten Schalter S soll angedeutet werden, daß die beiden Filter 22.1, 22.2 wahlweise einsetzbar sind. Bei den beiden Filtern selbst handelt es sich vorzugsweise um Tiefpaß- oder Bandpaßfilter.

Dadurch, daß das die Nachricht enthaltene Signal  $s(t)$  im Basisband als Linearkombination von Hermiteischen Funktionen dargestellt ist, wird dieses Signal  $s(t)$  durch die Fouriertransformation der Fouriertransformationseinrichtung 21 im wesentlichen nicht verändert. Daraus ergibt sich, daß die Deko-

diereinheiten 13 entsprechend den in Figur 1 angegebenen Dekodiereinheiten ausgebildet sein können. Die den Multiplizierern 15 zugeführten Funktionen  $F_0(f)$  bis  $F_{L-1}(f)$  unterscheiden sich von den in Figur 1 angegebenen Zeitfunktionen  $f_0(t)$  bis  $f_{L-1}(t)$  nur durch eine multiplikative Konstante, deren Wert gleich  $+/-1$  oder  $+/-i$  ist, wobei  $i$  die Wurzel aus  $-1$  darstellt, sofern die Fouriertransformation wie in dem Buch von Wiener definiert wird mit

$$F(f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-if't} dt$$

Andere Definitionen der Fouriertransformation sind mutatis mutandis ebenfalls möglich. Die hier verwendete Definition ist in diesem Fall die mathematisch einfachste. Man beachte jedoch, daß das Symbol  $f$  sich um einen Faktor von der gängigen Frequenz unterscheidet.

Die im empfangenen Signal  $r(t)$  enthaltene Störung  $e(t)$  läßt sich durch das der Fouriertransformationseinrichtung 21 vorgeschaltete Filter 22.1 in gewissem Maße herausfiltern, wobei die Signalanteile der orthogonalen Hermiteschen Funktionen im wesentlichen unverändert bleiben. Zur weiteren Reduktion des Störanteils trägt das zweite Filter 22.2 bei, das der Fouriertransformationseinrichtung 21 nachgeschaltet ist und durch eine nochmalige Filterung weitere Störanteile eliminiert.

In Figur 3 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Empfangseinrichtung 7 dargestellt. Der Aufbau entspricht im wesentlichen demjenigen der Empfangs-

einrichtung gemäß Figur 2, so daß auf eine nochmalige Beschreibung der mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichneten Teile verzichtet wird. Im Unterschied zu dem vorgenannten Ausführungsbeispiel sind jedem Entscheider 19 jeweils zwei Einheiten aus Multiplizierer 15 und Integrator 17 zugeordnet. Jeweils einer dieser Einheiten 23 wird das Signal  $r(t)$  direkt zugeführt, während die jeweils andere Einheit 25 das Ausgangssignal der Fouriertransformationseinrichtung 21 erhält. Somit liegt also eine Kombination der in Figur 1 und in Figur 2 gezeigten Empfangseinrichtungen 7 vor, wobei der Entscheider 19 die Aufgabe zu erfüllen hat, das Beste der beiden zugeführten Ausgangssignale der Integratoren 17 auszuwählen und als Komponenten  $\hat{m}_j$  zur Verfügung zu stellen. Der Entscheider 19 ermittelt den besten Schätzwert aus den beiden zugeführten Signalen im Zeit- und im Frequenzbereich auf der Grundlage einer geeigneten Metrik, beispielsweise der euklidischen Metrik.

In Figur 4 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Empfangseinrichtung 7 dargestellt, die im wesentlichen dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 3 entspricht. Im Unterschied ist in der Empfangseinrichtung 7 gemäß Figur 4 ein Entscheider 19' vorgesehen, dem die Ausgangssignale aller Integratoren 17 zugeführt werden und der auf der Basis aller Signale die Komponenten  $m_0$  bis  $m_{L-1}$  nach einer geeigneten Metrik, beispielsweise wiederum der euklidischen Metrik, abschätzt und ausgibt. Diese Empfangseinrichtung ermöglicht, daß die aus dem gestörten Signal  $r(t)$  dekodierten Komponenten  $\hat{m}_0$  bis  $\hat{m}_{L-1}$  einen sehr geringen Störanteil besitzen.

Allen vorgenannten Ausführungsbeispielen ist gemein, daß durch die Verwendung Hermitescher Funktionen zur Codierung der Nachricht eine zusätzliche Filterung im Frequenzbereich erfolgen kann, da sich diese Hermiteschen Funktionen durch die Fouriertransformation im wesentlichen nicht verändern. Damit erzielt man eine Reduktion der Störungen in den dekodierten Nachrichten.

Selbstverständlich ist es möglich, einzelne Ausführungsbeispiele zu kombinieren; beispielsweise lassen sich die beiden in Figur 2 gezeigten Filter 22.1, 22.2 auch in den Ausführungsbeispielen gemäß Figur 3 und 4 einsetzen. Es ist darüber hinaus denkbar, daß das Signal  $s(t)$  in bekannter Weise durch Modulation in höhere Frequenzbereiche transformiert wird. Es ist desweiteren denkbar, das in Figur 3 gezeigte Ausführungsbeispiel derart abzuwandeln, daß statt jeweils zwei Einheiten 23 lediglich eine Einheit 23 vorgesehen ist, der dann über einen Multiplexer abwechselnd das im Zeitbereich und das im Frequenzbereich liegende Signal zugeführt wird.

Deutsche Telekom AG, 64295 DARMSTADT

Ansprüche

1. Verfahren zur Übertragung von Nachrichten, wobei die Nachrichten  $m=(m_0, m_1, \dots, m_{L-1})$  mittels orthogonaler Funktionen zu einem Signal  $(s(t))$  kodiert werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß als orthogonale Funktionen Approximationen von Hermiteischen Funktionen verwendet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das empfangene Signal einer Fouriertransformation unterzogen wird und anschließend mittels der Hermiteischen Funktionen dekodiert wird, um die Nachrichten zu erhalten.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das empfangene Signal vor und/oder nach der Fouriertransformation gefiltert, vorzugsweise tiefpaßgefiltert wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das empfangene Signal sowohl im Zeit- als auch im Frequenzbereich dekodiert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß jede Komponente  $m_j$  sowohl im Zeit- als auch im Frequenzbereich dekodiert wird und daß nach

Erhalt der Ergebnisse mit Hilfe eines Entscheiders der im Sinne einer geeigneten Metrik jeweils beste Empfangswert ausgewählt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Entscheider die Auswahl der  $m_j$  in Abhängigkeit von allen  $\hat{m}_j$  mit Hilfe eines geeigneten Kriteriums durchführt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Signal durch Modulation in höhere Frequenzbereiche transformiert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Bestimmung des besten auszuwählenden Signals die euklidische Metrik verwendet wird.

9. Schaltungsanordnung zur Übertragung von Nachrichten, wobei eine Anzahl von  $L$  Komponenten ( $m_0 \dots m_{L-1}$ ) mittels orthogonaler Funktionen zu einem Signal kodiert ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Codierungseinrichtung (3) sendeseitig vorgesehen ist, die die Nachrichten ( $m$ ) mittels approximierter Hermitescher Funktionen kodiert, und daß eine Demodulationseinrichtung (7) empfangsseitig vorgesehen ist, die aus dem empfangenen Signal ( $r(t)$ ) mittels der approximierten Hermiteschen Funktionen die Nachrichten zurückgewinnt.

10. Schaltungsanordnung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Demodulationseinrichtung (7) eine der Anzahl der Komponenten entsprechende Anzahl  $L$  von Multiplizierern (15), Integratoren

(17) und Entscheidern (19) aufweist, wobei jeweils ein Modulator, ein Integrator und ein Entscheider zu einer Dekodiereinheit (13) in Reihe geschaltet sind.

11. Schaltungsanordnung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Fouriertransformationsvorrichtung (21) vorgesehen ist, die das empfangene Signal  $(r(t))$  fouriertransformiert und den Dekodiereinheiten (13) zuführt.

12. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß jede Dekodiereinheit (13) zweifach vorgesehen ist, wobei jeweils eine Dekodiereinheit das Signal im Zeitbereich und die jeweils andere Dekodiereinheit das Signal im Frequenzbereich dekodiert.

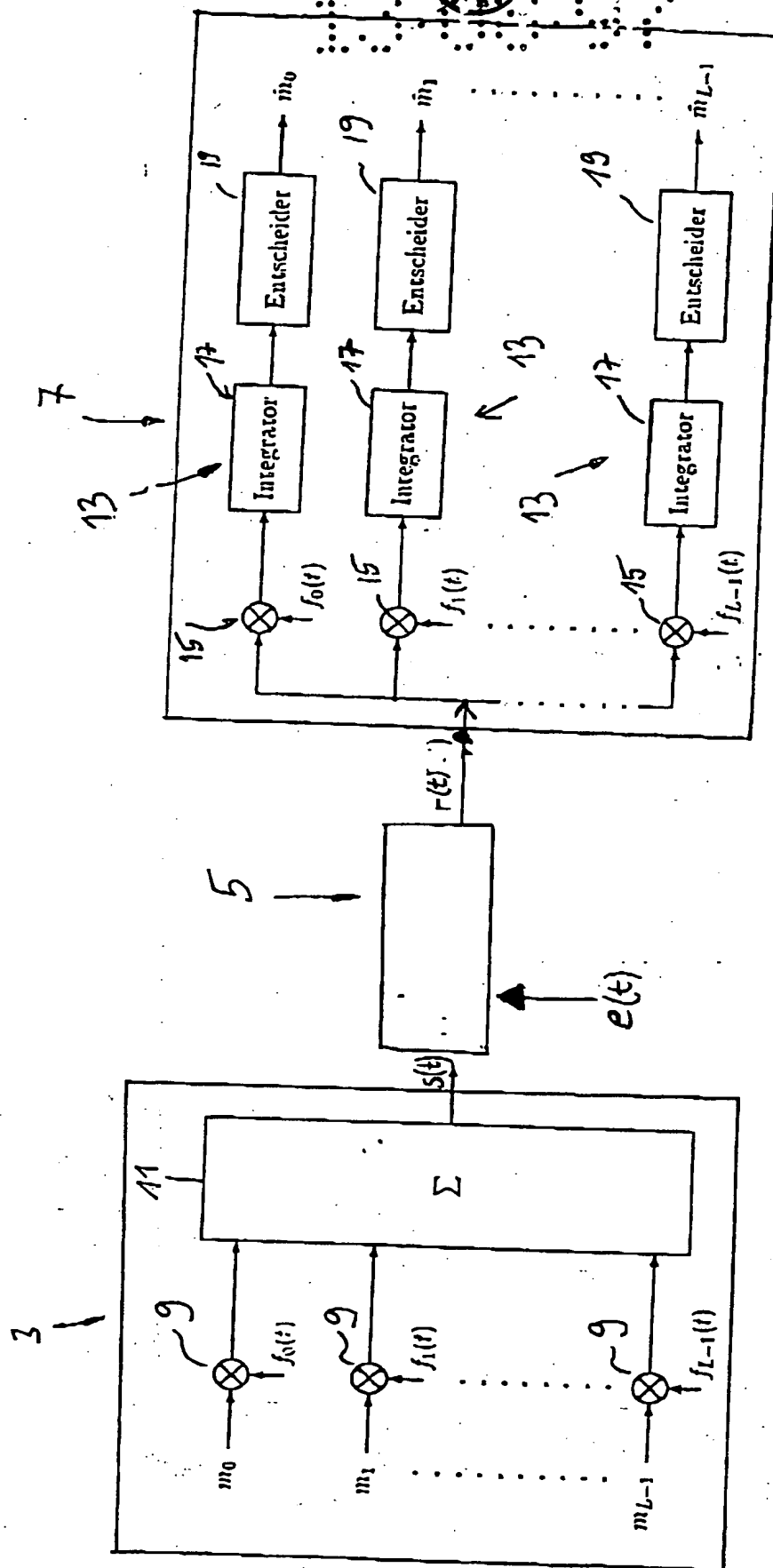
Deutsche Telekom AG, 64295 DARMSTADT

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft Verfahren zur Übertragung von Nachrichten, wobei eine Anzahl von  $L$  Komponenten  $(m_0, \dots, m_{L-1})$  mittels orthogonaler Funktionen zu einem Signal  $(s(t))$  kodiert werden, wobei als orthogonale Funktionen Approximationen von Hermite-schen Funktionen verwendet werden. Die Erfindung betrifft darüber hinaus Schaltungsanordnungen zur Ausführung der Verfahren.

(Figur 2)





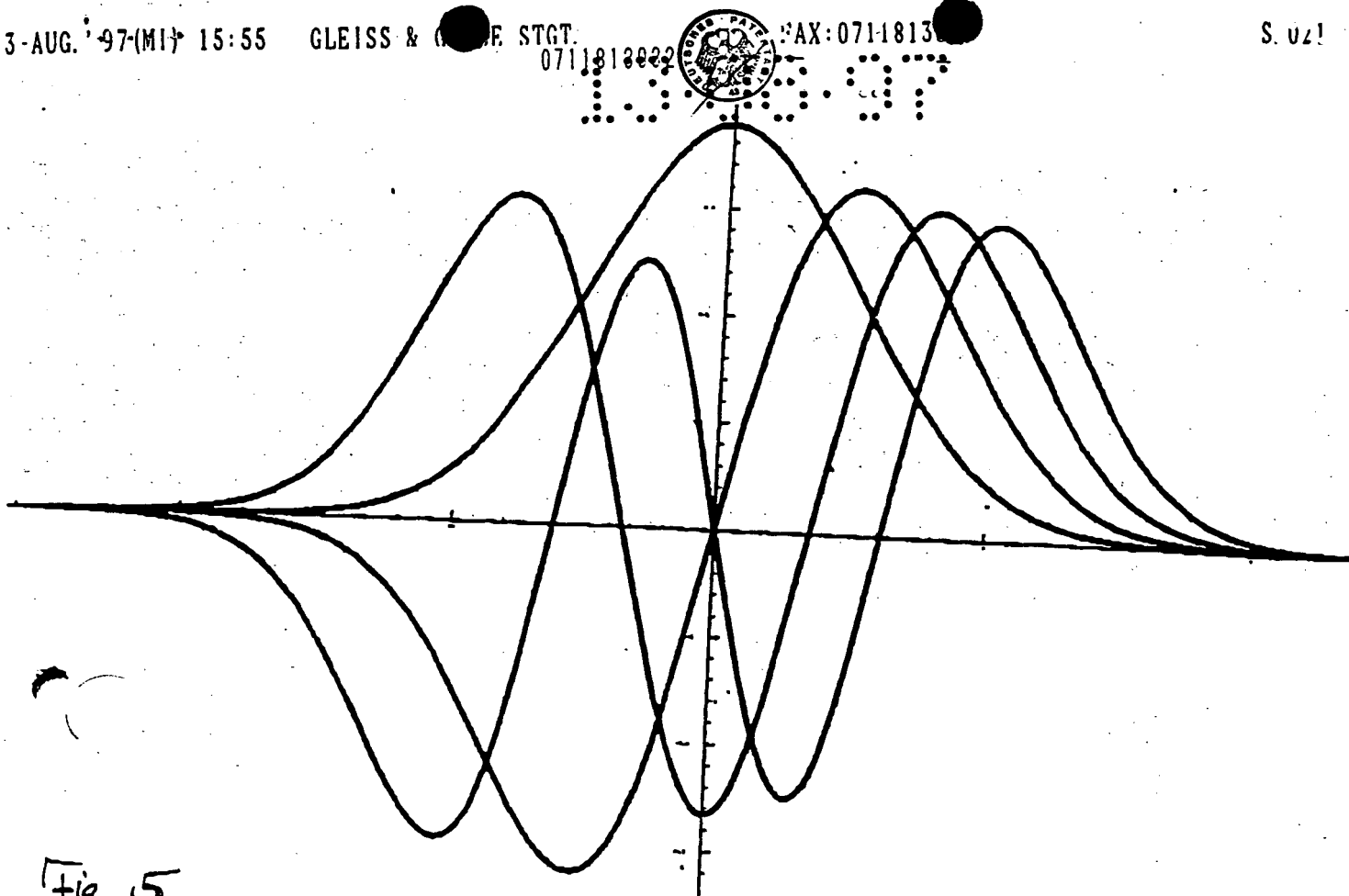


Fig. 5

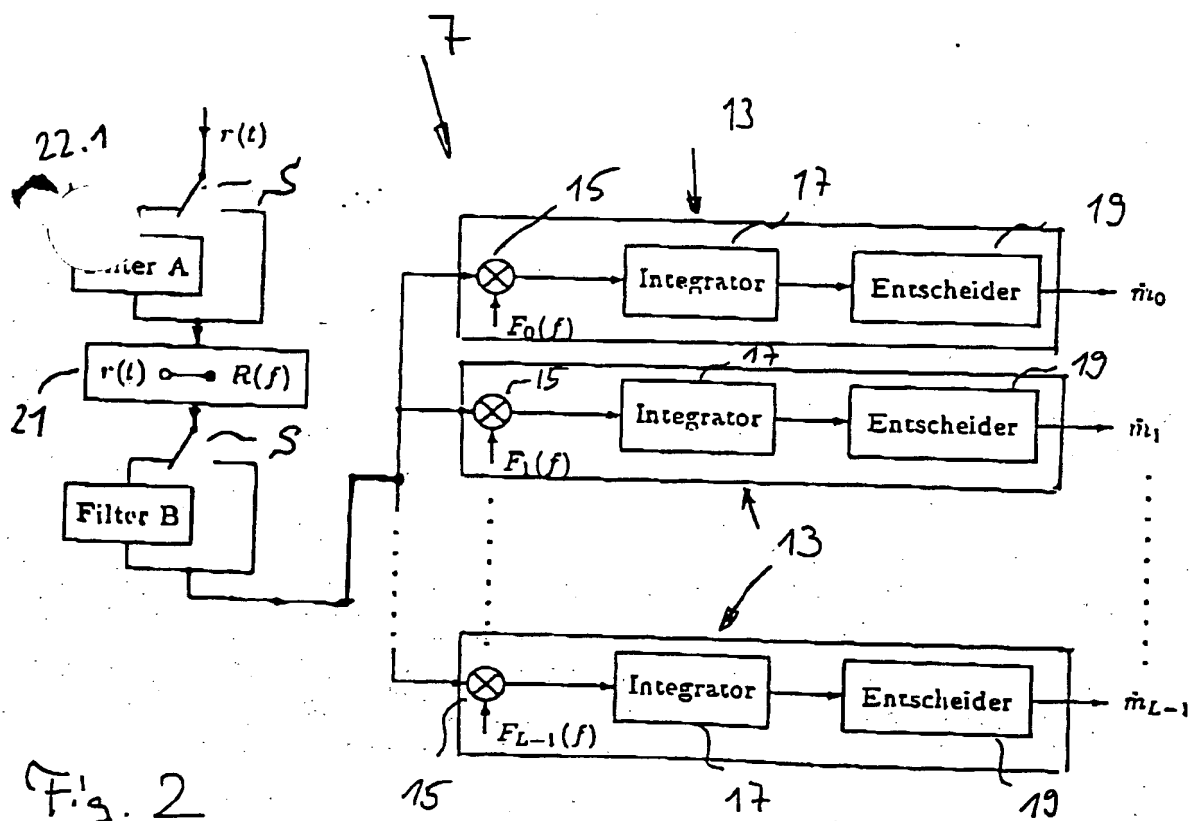
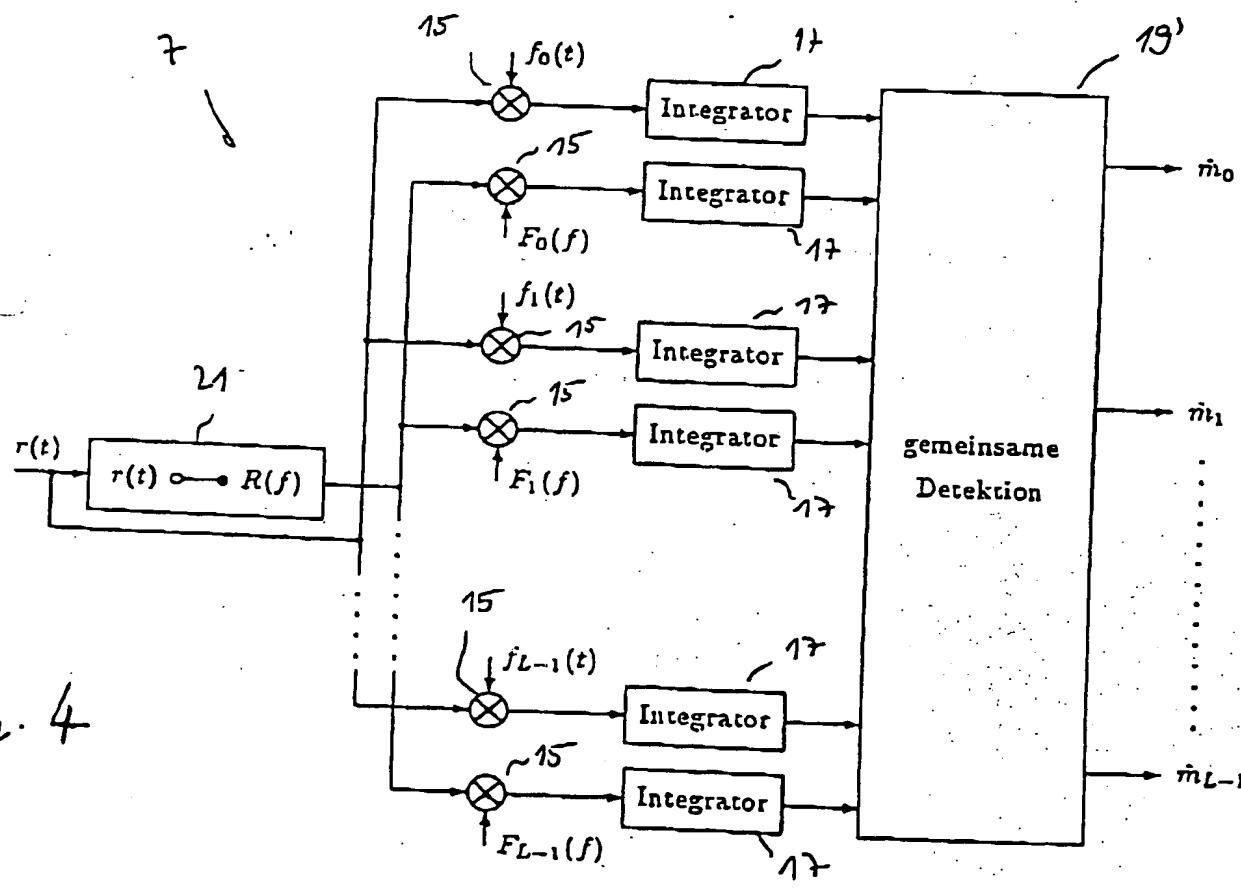
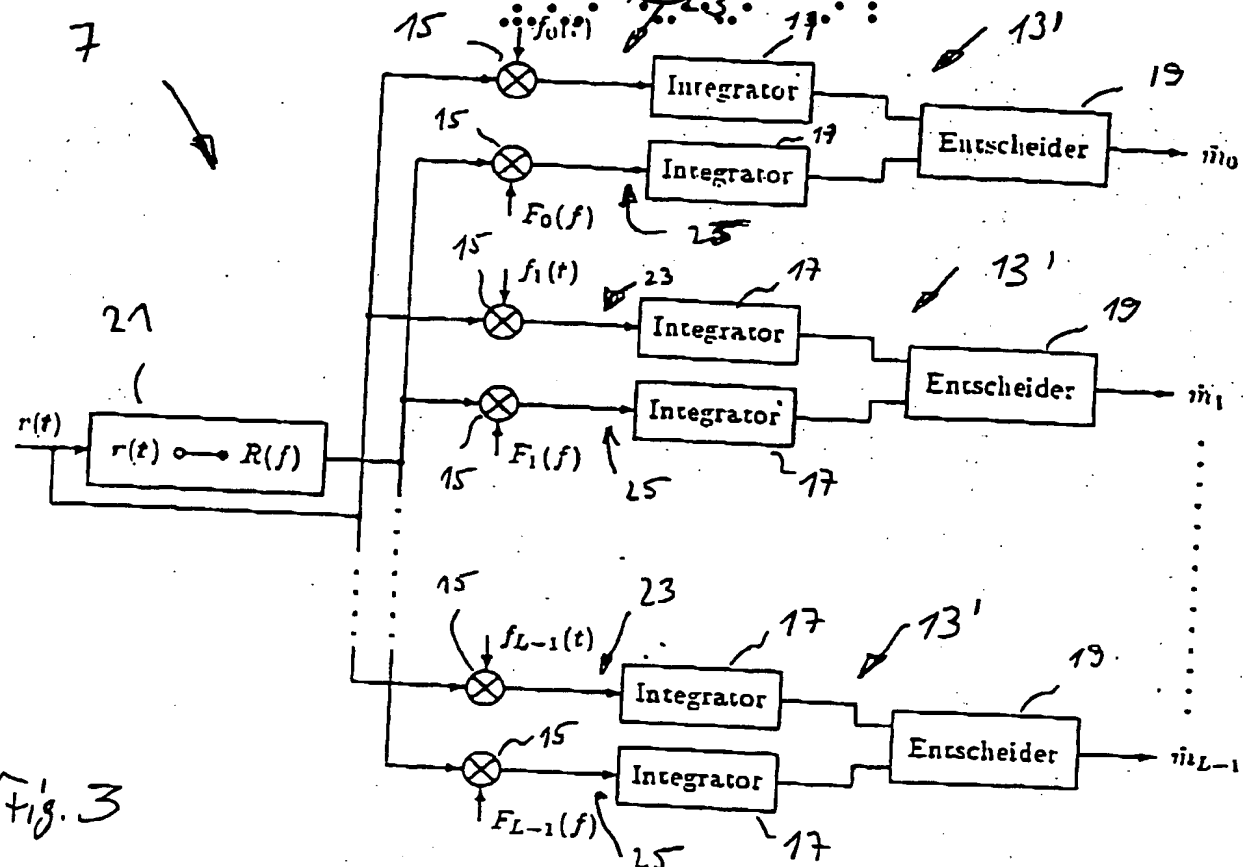


Fig. 2



**This Page Blank (uspto)**